

1. A kutatás során elvégzett mérések

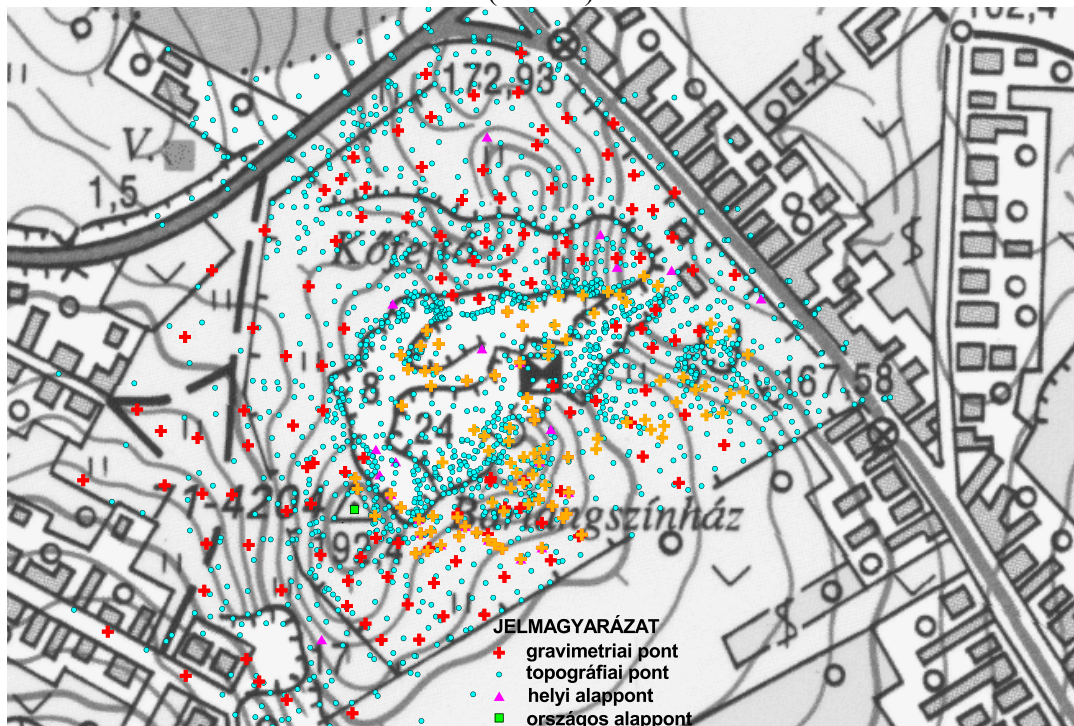
1.1 Alappont sűrítés

A részletes felmérést megelőzően a teszterületnek kiválasztott fertőrákosi kőfejtőben fúrással és betonozással állandósított alappontokat hoztunk létre, melyek vízszintes (EOV) és magassági (EOMA) koordinátáit GPS technikával határoztuk meg. Az alappont hálózatunk kezdőpontjául a területen található 71-4204 sz. IV. rendű országos alappontot választottuk. A GPS mérések ellenőrzésére mérőállomással is összemértük a pontokat és általában cm-en belüli egyezést találtunk a kétféle módon meghatározott koordináták között. Ezt a pontosságot elegendőnek ítéltük mind a topográfiai felméréshez mind a gravimetriai pontok helyének meghatározásához.

A kőfejtő belső vágatrendszerének felméréséhez az alappontok koordinátáit tachimetriai sokszögvonalak segítségével vezettük le. Az egyik ilyen, kb. 300 m hosszú zárt sokszögvonal záróhibája $dx=6.3$ cm és $dy=-8.2$ cm-nek adódott. Ezt a viszonylag nagy hibát a sokszor igen rövid (10 m – 15 m) tájékozó irányok kényszerű használata és az egy távcsőállásban végzett iránymérés eredményezte. Az ellenőrző mérések alapján megállapítható, hogy a vágatrendszerben meghatározott pontok hibája átlagosan ± 3 cm. Ez a pontosság elegendőnek bizonyult a vágatrendszer háromdimenziós felméréséhez és a gravimetriai pontok koordinátáinak meghatározásához.

1.2 Topográfiai felmérés

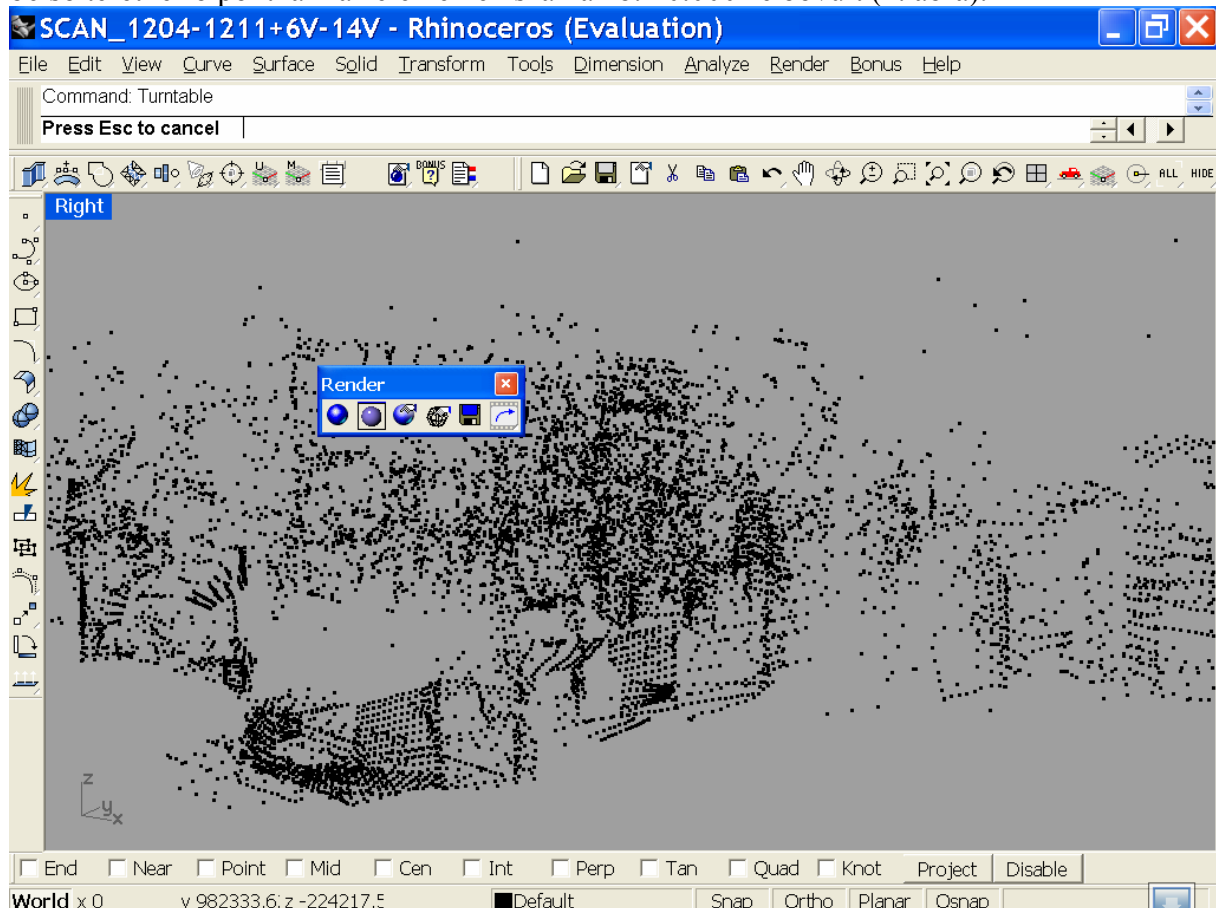
A kőfejtő közvetlen környezetében és a bányaterületen egy kb. 300 m \times 300 m kiterjedésű területen, több mint 1700 pontot határoztunk meg a felmérési alaphálózatra támaszkodva úgy, hogy elsősorban a terep jellemző pontjait, illetve a bányaudvar sziklafalainak sarkait és éleit mértük be a tachimetria módszerével (1. ábra).



1. ábra Az alappont hálózati, a topográfiai és a gravimetriai pontok elhelyezkedése a fertőrákosi kőfejtőben

1.3 A vágatrendszer felmérése

A felméréshez kezdetben egy prizma nélküli távmérésre is alkalmas Leica mérőállomást alkalmaztunk, melyet kölcsönöznünk kellett. Elsősorban a vágatrendszer belső felületének töréspontjait és éleit igyekeztünk meghatározni, hogy a jellemző pontok alapján ezen felületek háromszög lapokkal történő helyettesítésével előállíthassuk a vágatrendszer 3D modelljét. A mérés a rossz megvilágítási körülmények miatt, amelyek megnehezítették az irányzást és a pontazonosítást, nehezen haladt. Ennek ellenére kb. 3.000 pontot sikerült meghatározunk ezzel a módszerrel. Később lehetőségünk nyílt egy Trimble márkájú ún. szervómérőállomás használatára, amely automatikus mérésre (felület-pásztázás) is alkalmas. Így a belső teret leíró ponthalmaz elemeinek száma kb. 10.000-re bővült (2. ábra).



2. ábra A fertőrákosi kőfejtő vágatrendszerének belső felületén mért ponthalmaz megjelenítése pontfelhőként

1.4 Gravimetriai mérések

A méréseket az MTA GGKI LCR G949 sz. műszerével végeztük el, bázispontként használva a helyi geodéziai alaphálózat pontjait. Létesítettünk egy a vágatrendszerben állandósított főpontot is (országos pontszám: 100.0), amelyet az ELGI szakembereivel közreműködve összesen 3 graviméter (2 ELGI műszer, 1 GGKI műszer) mérési eredményeit felhasználva csatlakoztattunk az MGH2000 (Magyar Gravimetriai Hálózat) rendszerhez. A mérések együttes kiegyenlítésével $\pm 4.4 \mu\text{Gal}$ ($1 \mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2$) megbízhatóságú nehézségi gyorsulás értéket sikerült meghatározunk. A bázispontokat és a főpontot többszörösen összemértük, így a 9 pont között rendelkezésre álló 31 db nehézségi különbség mérés alapján, a főpont g értékének rögzítése mellett hálózatkiegyenlítéssel vezettük le a bázispontok nehézségi gyorsulás értékeit. A bázispontok közötti g differenciák a posteriori középhibái

$\pm 4.3 \mu\text{Gal}$ és $\pm 7.8 \mu\text{Gal}$ közötti értékűek, míg az abszolút g értékek középhibái a főpont hibáját is figyelembe véve valamivel nagyobbak ($\pm 6.1 \mu\text{Gal}$ – $\pm 9.0 \mu\text{Gal}$).

A 100.0 sz. ponton elvégeztük a nehézségi gyorsulás vertikális gradienseinek ($\partial g/\partial H$) meghatározását is a szükséges magassági redukció pontos kiértékeléséhez egy esetleges jövőbeni abszolút g mérés esetére. A méréshez az állványzatot az ELGI-től kaptuk kölcsön. A kellő számú fölös mérés és a kedvező mérési körülmények (állandó külső hőmérséklet, stabil álláspont, minimális műszer mozgatás) következtében a 3 mérési szint közötti nehézségi differenciák kiegyenlítés utáni középhibái $\pm 1 \mu\text{Gal}$ körüliek lettek, $\pm 3.3 \mu\text{Gal}$ súlyegység középhiba mellett. Megállapítottuk, hogy a kapott gradiens érték ($\partial g/\partial H_{100.0} = -0.2648 \pm 0.00036 \text{ mGal/m}$) jelentős eltérést mutat a normál (szabadlevegő) gradiens (-0.3086 mGal/m) általánosan használt értékétől. Az abszolút értelemben csökkent érték a mérési pont földalatti elhelyezkedésével magyarázható, amely a pont fölött elhelyezkedő köztömegek hatását tükrözi.

A részletpontok és a meghatározásukhoz használt bázispontok közötti g differenciákat a napi műszerjárás legkisebb négyzetes kiegyenlítése során határoztuk meg. Az egység súlyú mérést jellemző a posteriori középhiba $\pm 7.7 \mu\text{Gal}$ és $\pm 19.5 \mu\text{Gal}$ közötti értékű, ami azt mutatja, hogy az egyetlen mérésből levezetett g adatok nagy részének megbízhatósága jobb, mint $\pm 20 \mu\text{Gal}$.

A mérések során a légnyomást folyamatosan regisztráltuk, és amikor ez indokolt volt, alkalmaztuk az ún. barometrikus korrekciót.

Összesen 242 gravimetriai pontot határoztunk meg, melyek közül 48 a vágatrendszeren belül helyezkedik el.

2. A kutatást támogató térinformatikai eszközök és adatbázis

Gravitációs modellkísérleteinkhez a köfejtő belsejének és topográfiai környezetének 3D modelljét kívántuk előállítani. Előzetes tapasztalataink és információink alapján azt gondoltuk, hogy ez viszonylag könnyen megvalósítható korszerű térinformatikai eszközökkel (AutoCAD, ArcView). Azonban hamar kiderült, hogy a gravitációs modellezés speciális igényei miatt az általános mérnöki célokra használt 3D eszköztár nem elegendő, és így bonyolult struktúrák előállítására és kezelésére nem alkalmas. Előzetes vizsgálataink azt mutatták, hogy nagy pontosságú modellezés esetén, amikor a mérési/számítási pontok a modell tér közvetlen környezetében, vagy azon belül helyezkednek el, a Newton-integrál analitikus megoldásához használt térfogatelemek közül leginkább a háromszög lapokkal határolt polihedron jöhet szóba (Benedek, 2004). Azonban egy polihedronokból álló valódi 3D szerkezetnek az automatikus létrehozása egyelőre a tudásunk szerint nem megoldott feladat és erre vonatkozó eddigi próbálkozásaink sorra kudarcot vallottak. Először azzal kísérleteztünk, hogy még a terepen strukturált adathalmaz készüljön a mérésekből, de a már meghatározott pontok terepi azonosítása és nyilvántartása olyan problémákat vetett fel, amit a rendelkezésre álló eszközökkel nem tudtunk megvalósítani (gyakorlatilag egy egész számítógépesített irodát kellett volna működtetni a terepen a műszer mellett). Ekkor fordultunk a pásztázó (scanner) jellegű mérési technika felé, de ennél a technikánál a nagyszámú adat közötti utólagos és legalább fél-automatikus „rendteremtés”, azaz a fő szerkezeti vonások kiemelése és polihedron formákkal történő rögzítése okozta a fő gondot. Természetesen a manuális modell generálás, azaz a mérési pontok képernyőn történő összekötése és térbeli háromszög hálózatba rendezése nem megoldhatatlan, csak igen idő- és operátorigényes, főként akkor, ha a kezelendő pontok száma több ezer.

A mérési eredményeket ArcView és AutoCAD rendszerekben tároljuk. Ez utóbbinak előnye, hogy képes kezelni az ún. 3DFACE elemeket, amelyek tetszőleges háromszög vagy négyszög alakúak lehetnek. A rendszerben létrehozott struktúrák DXF formátumban

elmenthetők, és mivel a DXF állományokból ki tudjuk nyerni a háromszög lapok adatait, ezért ezeket fel tudjuk használni az OTKA program keretében kifejlesztett erőter modellező algoritmusainkban.

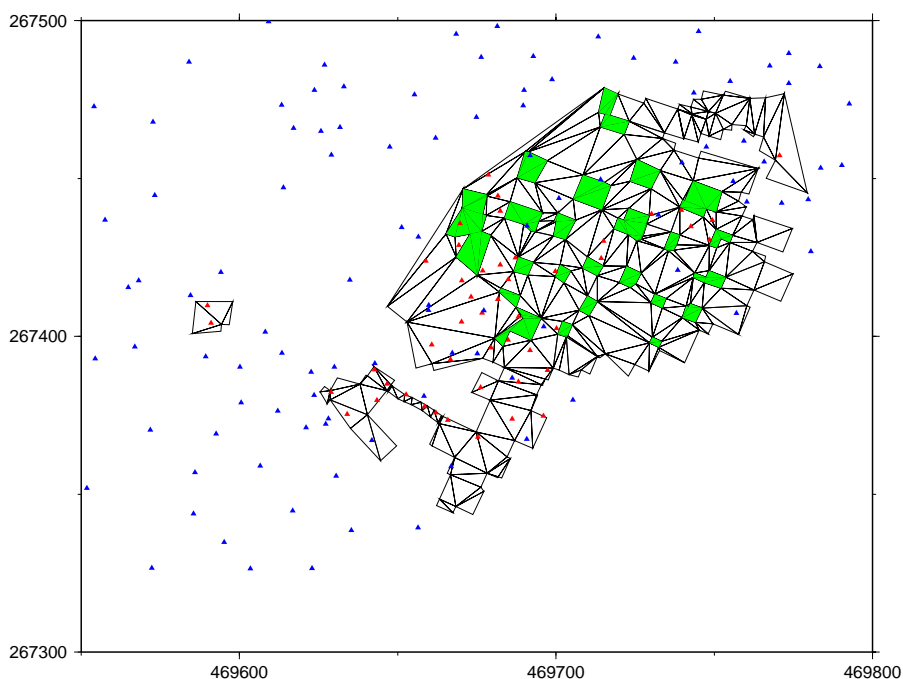
A rendelkezésre álló adatok nagy száma miatt megvizsgáltuk annak lehetőségét, hogy egy felületet leíró pontthalmaz elemeinek számát miképpen lehet optimálisan csökkenteni úgy, hogy az információ veszteség valamilyen küszöbérték alatt maradjon. A feladat megoldására többféle algoritmus is készült, amelyeket cikkben foglaltunk össze (Kalmár, 2005)

3. A kutatás során eddig felhasznált kiegészítő adatok

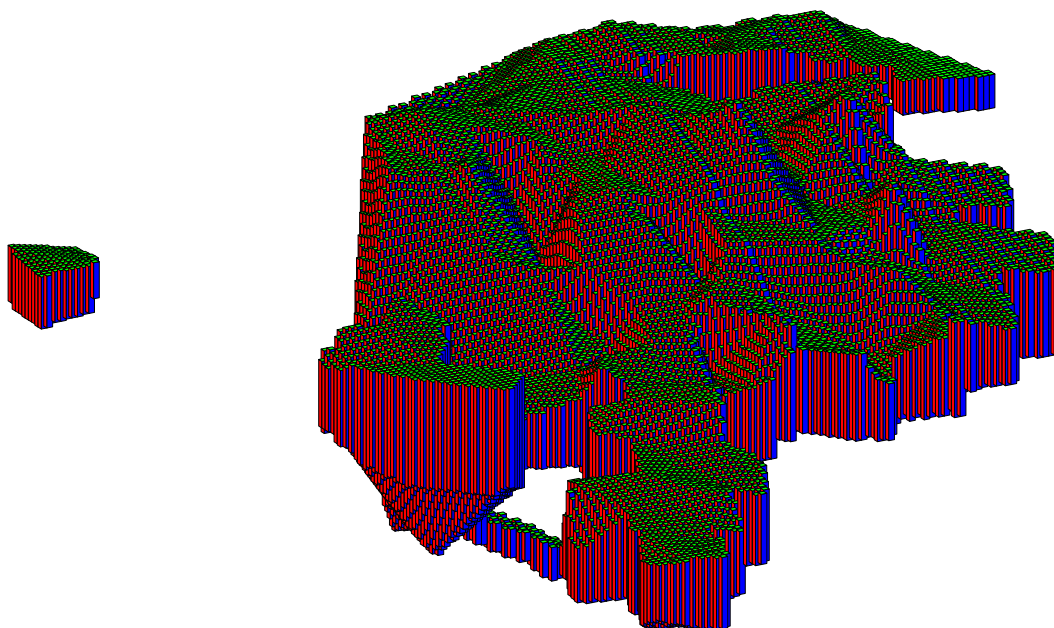
Mivel a fertőrákosi kőfejtő belső tere a múltban néhány kisebb átalakításon is átesett (t.i. barlangszínház lett belőle), ezért két felmérésének eredményei is a rendelkezésünkre álltak, térképi formában. Ezek leginkább csak síkrajzi elemeket tartalmaznak és a járófelületen valamint a mennyezet néhány pontjában adnak meg magassági szinteket. A 2. pontban vázolt problémák miatt úgy döntöttünk, hogy a régi felméréseket is felhasználjuk a kőfejtő 3D modelljének létrehozásához, úgy, mint annak egyszerűsített változatát. A térképek digitalizálásával sikerült egy kb. 1000 pontot tartalmazó előzetes modellt létrehozni, amely a várakozásaink szerint a jövőben segíteni fogja egy finomabb struktúra kialakítását, akár manuális, akár (fél)automatikus üzemmódban.

4. A fertőrákosi kőfejtő vágatrendszerének modelljei

A 3. pontban ismertetett digitalizált adatokból elkészítettük a vágatrendszer térfogatának polihedron modelljét, amely 435 háromszög keresztmetszetű, alul és felül ferde lapokkal határolt elemből áll. A belső teret megosztó pillérek is modelleztük, összesen 94 db polihedron elemmel (3. ábra). A belső térnek elkészítettük az $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ horizontális felbontású derékszögű hasábokból (prizma) álló modelljét is, amely 9918 térfogat elemből áll (4. ábra). Az üreg sűrűségét a környező köztömeget alkotó ún. Lajta mészkő sűrűsége miatt -2200 kg/m^3 értékűnek választottuk az előzetes számításokhoz.



3. ábra A fertőrákosi kőfejtő vágatrendszerének egyszerűsített, polihedron térfogat elemekkel leírt 3D modellje felülnézetből. A zöld foltok jelölik a pillérek helyeit, a piros háromszögek a vágatrendszeren belül, míg a kék háromszögek a felszínen mért gravimetriai pontokat jelölik. Az EOVS koordináták m egységben adtak



4. ábra A fertőrákosi kőfejtő vágatrendszerének egyszerűsített, derékszögű hasábokkal leírt 3D modellje. A magassági irányú torzítás kétszeres

5. A direkt erőter modellezésben elért eredmények összefoglalása

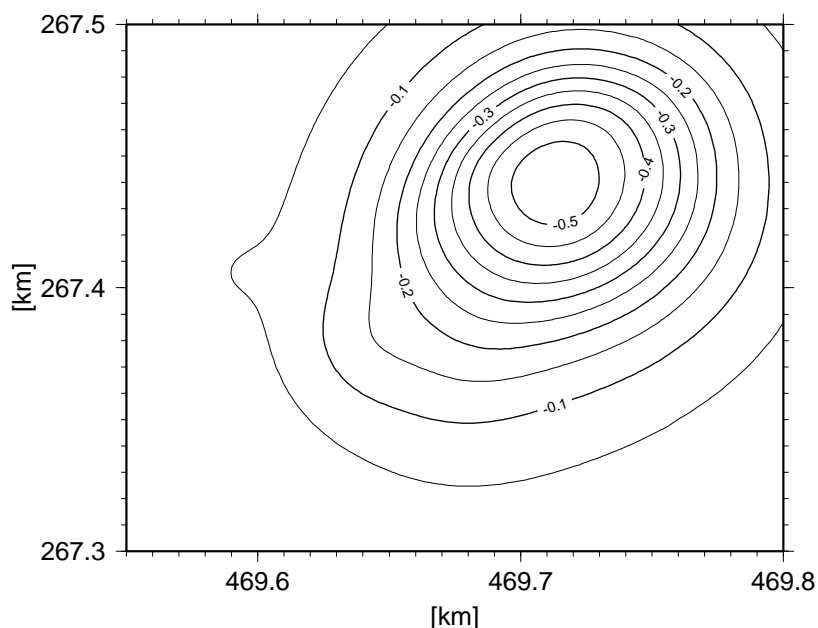
Az eddigi kutatásainkban (F014284 és T025318 sz. OTKA-k) sikerrel alkalmaztuk a derékszögű térfogatelemek a kéregszerkezet regionális sűrűség eloszlásának diszkrét leírására. Az Alpok - Pannon-medence - Kárpátok régió litoszférájának három nagy szerkezeti egységét (topográfia, üledékek, felső köpeny) közel 200000 változó méretű téglatestből (prizmából) álló modell írja le. A modell felhasználásával a jelenlegi OTKA kutatás keretében végrehajtott szintetikus gravitációs modellezés eredményei alapján megállapítható, hogy a topográfia és a felső köpeny hozzájárulása a T potenciálzavar második deriváltjaihoz bizonyosan eléri az egy Eötvös értéket a GOCE műhold tervezett pálya magasságában (250 km). A neogén-negyedkori üledékösszlet esetén ezen hozzájárulás nagysága csak néhány század Eötvös, mely azonban nagyságrendileg még mindig meghaladja a tervezett mérési érzékenységet. Ennek megfelelően várható, hogy a GOCE adatok lehetővé teszik a kéreg regionális léptékű sűrűség változásainak pontosítását. A publikált vizsgálatok során (ld. A publikációs jegyzékben: Benedek and Papp, 2007a; Benedek és Papp, 2007b) az alsó kéreg és a felső köpeny közti Moho felületet jellemző, csak közvetett úton becsülhető sűrűségkontraszt pontosításának lehetőségét elemeztük. Mivel a topográfia és az üledékösszlet sűrűségeloszlása jóval részletesebben ismert, mint a sűrűségkontraszt a Moho felületen, ezért az előbbi szerkezeti elemek hatása korrekcióként vehető figyelembe a pályamagasságban mért adatok vonatkozásában. Bizonyos mértékű elhanyagolás mellett a korrekcióval előállított ún. maradékhata a Moho-t jellemző sűrűségkontrasztnak tulajdonítható. A maradékok inverzió segítségével sűrűségkontraszt értékekké alakíthatók és így a litoszféra modell sűrűségeloszlása pontosítható lesz.

A litoszféra modellt mind lokális mind globális koordináta-rendszerben leírtuk. A lokális (sík) koordináta rendszerben (EOTR) a modellelemek téglatestek, míg a globális koordináta

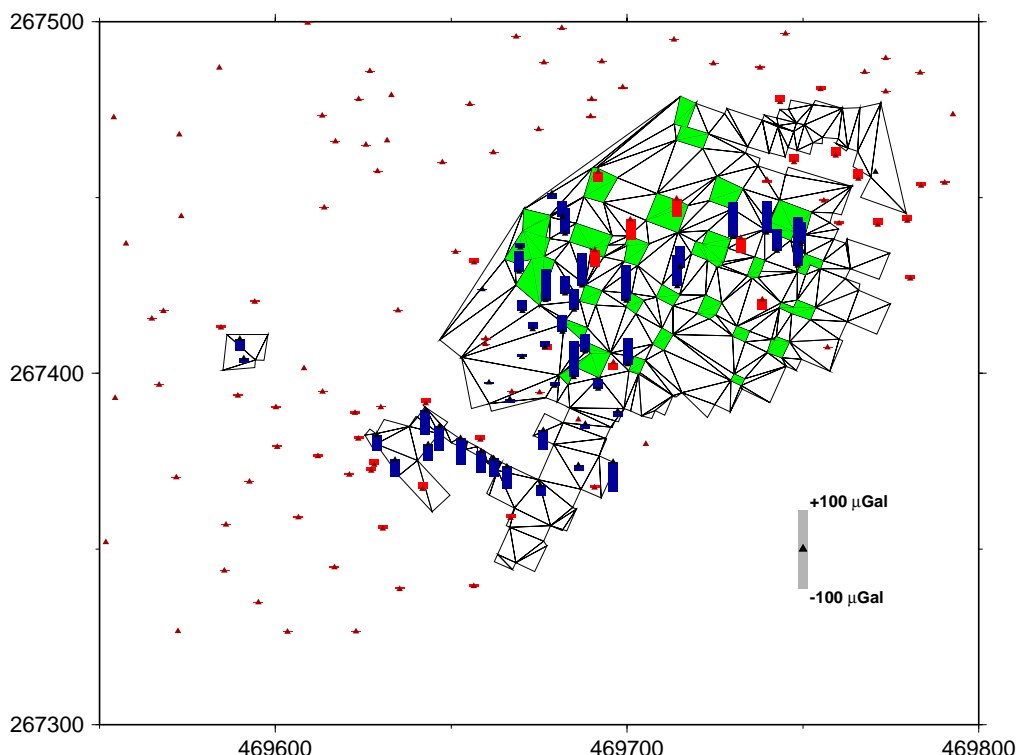
rendszerben (HD72) polihedronok. A sík közelítésben szimulált Eötvös tenzor elemeit terhelő görbületi hatás vizsgálatára összehasonlítottuk a különböző rendszerekben kapott eredményeket. Ehhez levezettük a két rendszerben meghatározott erőterparaméterek közötti transzformációs összefüggéseket. Megállapítottuk, hogy a vizsgált magasságban és horizontális kiterjedés esetén a görbület hatásának elhanyagolása az inverzió során megengedhető, mert legfeljebb 10%-os becslési hibát okozhat. Ez az érték lényegesen kisebb, mint a feltételezett sűrűség kontraszt ($250 \text{ kg/m}^3 - 500 \text{ kg/m}^3$) bizonytalansága. A topográfia esetében a direkt számításokat a globális rendszerben, polihedron térfogatelemek alkalmazásával kell elvégezni, mert a görbület hatása erre a szerkezeti elemre vonatkozóan jóval meghaladja a műhold pályáján mért értékek bizonytalanságát.

A polihedronokkal történő erőter modellezéshez, azaz az erőter paraméterek (potenciál, gradiens vektor, Eötvös-féle tenzor) analitikus meghatározásához előállítottuk a szükséges algoritmusokat és ezeket összevetettük a szakirodalomban közölt megoldásokkal. Sikertült olyan függvényeket alkalmazni a tömegvonzás hatását leíró képletekben, amelyek segítségével a polihedron-test felszínéhez igen közeli vagy a test méreteihez viszonyítva igen távoli helyzetben lévő pontokban elkerülhető a numerikus szingularitás ill. instabilitás. Azaz a potenciálelméletnek megfelelően a potenciál és annak gradiens vektora minden pontban (a polihedronon kívül és azon belül, valamint a határfelületeken, éleken és csúcspontokban) kiszámítható, míg az Eötvös tenzor elemei csak sűrűség változással nem bíró pontokban léteznek és határozhatók meg a képletekkel.

Mind a derékszögű hasáb mind a polihedron térfogatelemekből kiszámítottuk a fertőrákosi kőfejtő vágatrendszere által létrehozott tömegvonzási potenciál gradiens vektorának g_z összetevőjét a terület legmagasabb tereppontja felett 4 m ($H=195 \text{ m}$) magasságban elhelyezkedő síkon (5. ábra) és a mérési pontokban is (6. ábra). Az eredmények összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a prizmákból álló modell igen nagy horizontális felbontása mellett is jelentős eltérés ($g_z^{\text{prizma}} - g_z^{\text{polihedron}}$) tapasztalható a vágatrendszer belsejében lévő mérési pontokban, míg a felszínen az eltérések lényegesen kisebbek (1. táblázat). Ez az eredmény egyben azt is előre vetíti, hogy a gravitációs mérések pontosságának ($\leq \pm 20 \text{ } \mu\text{Gal}$) megfelelő térmodellt csak a részletes felmérési adatok feldolgozásával tudjuk előállítani.



5. ábra A vágatrendszer polihedronokkal leírt modellje által gerjesztett erőter g_z összetevője $H=195 \text{ m}$ magasságban, $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ -es rácson, $\rho=-2200 \text{ kg/m}^3$ térfogat sűrűséggel kiszámítva. Szintvonalköz: 0.05 mGal



6. ábra A derékszögű hasábokkal és polihedronokkal leírt vágatrendszer modellek által gerjesztett erőter g_z összetevőinek különbségei, kék oszlopokkal jelölve a vágatrendszeren belüli, míg piros oszlopokkal az azon kívüli mérési pontokban. A zöld foltok jelölik a pillérek helyeit, a fekete háromszögek a vágatrendszeren belül, míg a barna háromszögek a felszínen mért gravimetriai pontokat jelölik. Az EOY koordináták m egységben adottak

1. táblázat A szintetikus tömegvonzási hatás z irányú összetevőjének, valamint a g_z összetevők különbségeinek statisztikái a belső és a külső mérési pontokban

		min [mGal]	max [mGal]	átlag [mGal]	szórás [mGal]
belül	g_z^{prizma}	0.013	0.963	0.506	± 0.256
	$g_z^{\text{prizma}} - g_z^{\text{polihedron}}$	-0.076	0.125	0.013	± 0.052
kívül	g_z^{prizma}	-0.759	0.115	-0.075	± 0.149
	$g_z^{\text{prizma}} - g_z^{\text{polihedron}}$	-0.052	0.026	0.000	± 0.009

6. Az inverziós modellezés eredményeinek összefoglalása

6.1 Iteratív megoldás a sűrűség becslésre

Nemzetközi (dán – ausztrál - magyar) együttműködésben és a Magyar Ösztöndíj Bizottság támogatásával vizsgáltunk egy statisztikai elemzéseken alapuló iteratív eljárást, amely képes a forrás horizontális körvonalának és a környezetéhez viszonyított sűrűség kontrasztjának becslésére. Az eljárást egy ausztráliai bányaterület (Yilgarn kraton, Nyugat-Ausztrália) jól azonosítható és geofizikailag is felmért sűrűség anomáliáin teszteltük. A módszer rácra interpolált nehézségi rendellenességekből szintén rácson, derékszögű prizmákkal definiált/diszkrétizált sűrűség eloszlás modellt állít elő, fokozatosan változtatva a prizma-rendszer kontúráját, csökkentve ill. növelve a prizmák számát az iterációs lépésekben. Az eredményeket publikációban (Strykowski et al. 2005) közzétettük, amelyben bár nem szerepel az OTKA kutatási program száma a MÖB támogatás feltüntetése mellett, de tematikailag az eredmények mindenképpen az OTKA programhoz tartoznak.

6.2 A felszíni sűrűség és a terepi javítás együttes, iteráció nélküli becslése

A Nettleton-féle módszer azon megfigyelésen alapul, hogy a szabadlevegő nehézségi rendellenességek és a topográfiai magasságok között általában szignifikáns lineáris statisztikai kapcsolat mutatható ki. A regressziós egyenes paramétereinek iteratív meghatározásával megbecsülhető az adott terület topográfiai tömegeinek átlagos térfogat sűrűsége. A becslés pontossága azonban erősen függ attól, hogy a nehézségi rendellenességekből milyen mértékben sikerül eltávolítani a regionális trendet illetve a nagyon közeli topográfia hatását a terepi javítás (TC) alkalmazásával. A felszíni P pontban a korrekció lineáris függvénye az ismeretlen sűrűségnek, ha a topográfiai felszín geometriája rögzített. Ezért TC közvetlenül bevonható a kiegyenlítő egyenlet-rendszerbe és így a sűrűség becslés egy lépésben megoldható (Papp, 2007a). A módosított Nettleton-féle módszerrel kapott eredmények, valamint a regionális trend és a helyi hatások becslésre gyakorolt torzító hatásának bemutatása két példán keresztül történt (Papp, 2007b). A vizsgálatainkban egy Duna parti löszfal környezetének és egy Mecseki teszterületnek a gravitációs felmérési adataiból vezettünk le a sűrűség értékeket. Kimutattuk, hogy az inverzió eredményének változása szorosan összefügg az egymás után alkalmazott redukciókkal (regionális, lokális), amelyek során a maradék adatok tulajdonságai egyre inkább illeszkednek az alkalmazott modell (Bouguer lemez) által megszabott elméleti feltételekhez. A becslési eredményeknek mind a laboratóriumi ellenőrzése mind a rendelkezésre álló geológiai információkkal való összevetése megtörtént.

7. A nehézségi erőter hatása a magassági koordinátára

A Föld rendellenes nehézségi erőterében két pont magassági viszonyát a pontok közötti nehézségi potenciál különbség határozza meg egyértelműen. A potenciál különbséget, mivel közvetlenül nem mérhető, geometriai szintezési adatok és nehézségi gyorsulás mérések együttes feldolgozásával állíthatjuk elő:

$$\Delta W_{AB} = \int_A^B \mathbf{g} \cdot d\mathbf{s} \cong \sum_{i=1}^N \bar{\mathbf{g}}_i \Delta \mathbf{s}_i = \sum_{i=1}^N |\bar{\mathbf{g}}_i| |\Delta \mathbf{s}_i| \cos \alpha_i \cong - \sum_{i=1}^N \bar{g}_i \Delta H_i,$$

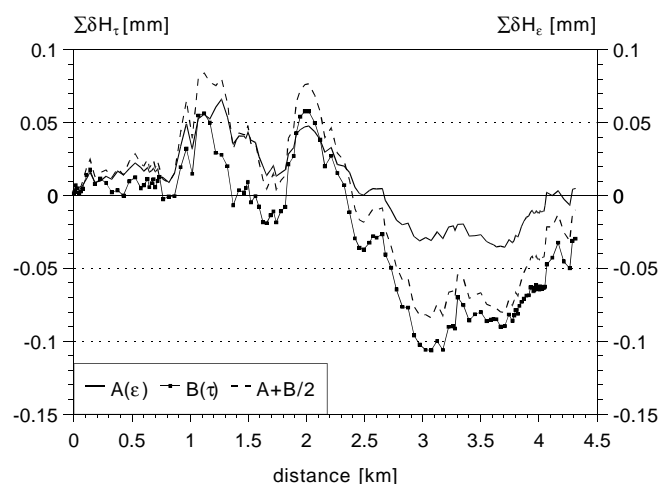
ahol $\mathbf{g}=\mathbf{g}(s)$ a nehézségi gyorsulás függvénye, $d\mathbf{s}$ az elemi elmozdulás vektora az útvonal mentén, $\Delta \mathbf{s}_i$ az \mathbf{r}_j és az \mathbf{r}_{j-1} a j and j-1 pontokba mutató helyvektorok különbsége, α_i a $\bar{\mathbf{g}}_i$ és a $\Delta \mathbf{s}_i$ vektorok által bezárt szög, \bar{g}_i az átlag g érték a $\Delta \mathbf{s}_i$ útvonal mentén, $\Delta H_i \cong |\Delta \mathbf{s}_i| \cos \alpha_i$ a mért (geometriai) magasság különbség és N a műszerállások száma az A–B pontok között. Egy elemi megközelítésben a szintezési vonal minden szomszédos kötőpontja közötti magasság különbséghez hozzá kell rendelni egy megfelelő átlag g értéket az A és a B pontok közötti potenciál különbség meghatározásához. A gyakorlatban ez a feltétel, a nehézségi gyorsulásnak a kötőpontok közötti lineáris változása esetén, éppen annyi g mérést követel meg amennyi a kötőpontok száma a vonal mentén. Az idő és anyagi korlátok miatt azonban ez nem teljesíthető, viszont a szükséges g adatok előállítására nem csak méréssel lehetséges. Egy lehetséges alternatív megoldásra tanulmányt készítettünk (Papp et al. 2008) és a kidolgozott eljárást sikerrel alkalmaztuk egy Mecsek-hegységi teszterületen, Ófalu község határában. Ezen a területen egy igen részletes gravimetriai felmérés történt, amely az itt létesített 4.3 km hosszúságú szintezési vonal mentén átlagosan 1 pont/34 m pontsűrűséget biztosít. A tanulmányban először azt vizsgáltuk, hogy a g adatok vonal menti pontsűrűsége

miképpen befolyásolja a vonal végpontjai közötti potenciál különbsége. A szintezési kötőpontok közötti átlag g értékek a fokozatosan gyérített adatok alapján kerültek kiszámításra és a kapott megoldásokat a referencia megoldáshoz (az összes mérés felhasználásával előállított potenciál különbség) hasonlítottuk. Az eredmények azt mutatják, hogy a viszonylag mérsékelt domborzat ellenére, ha csak 2 km-enként mérjük a g értékét, akkor 0.1 mm hiba is felhalmozódhat a 4 km-nyi szintezés során. Ha pedig csak a vonal végpontjain mérünk, akkor a hiba értéke 0.2 mm körüli. Sokszor a gyakorlatban még ilyen „sűrű” (~1 pont/4 km) mérés sem valósítható meg, azonban ennek kedvezőtlen hatása kiküszöbölhető a kidolgozott módszer segítségével. Ez az eljárás inverz és direkt erőter modellezésen alapul és végeredményben a méréseket kiegészíti a mérési pontok között szintetikusan meghatározott g változásokkal. Az erőteret három összetevőre bontja, három forrás elkülönítésével. Az első összetevő a felszíni topográfia tömegvonzási hatása, a második a tengerszint alatti sűrűség rendellenességek hatása (azaz az ún. teljes Bouguer-féle rendellenesség) és a harmadik komponens a normál térből (ellipszoidi földmodell) származik. A teszt eredmények azt mutatják, hogy a potenciál különbség hibája csak 10^{-3} mm nagyságrendű még akkor is, ha csak a 4.3 km-es vonal végpontjaiban mérjük a g értékét. Az eljárás lényeges részét képezi a topográfia tömegmodelljének optimalizálása, amelyet a 6.2 fejezetben ismertettünk.

A rendelkezésre álló tömegmodellek birtokában kísérletet tettünk a szintezés egy másik fontos hiba összetevőjének a vizsgálatára is. Tudomásunk szerint eddig még senki nem próbált numerikus becslést adni a szintfelületek összehajlásából származó a szintezéssel Euklideszi értelemben nem egyértelműen meghatározható szintfelület távolság hibájára. A hiba jellegét két szomszédos kötőpont viszonylatában a 2. táblázat részletezi, míg a hiba halmozódás hatását a 7. ábra mutatja. A számítások elvégzéséhez tulajdonképpen a nehézségi gyorsulás vektort kellett minden kötőpontban meghatározni, hiszen ez a vektor határozza meg az adott pontban a szintfelület érintő síkjának térbeli állását. Az egyszerűsítés kedvéért (mivel a pontok igen közel voltak egymáshoz) a szintfelületek görbületétől eltekintettünk, azaz a szintfelületeket érintő síkjaikkal helyettesítettük két szomszédos kötőpont közötti szakaszon.

2. táblázat Kapcsolat a szintezett magasság különbség (t.i. hátra-leolvasás – előre-leolvasás = $l_H - l_E$) és a szintfelületek között nem egyértelműen meghatározható Euklideszi távolság között. ε a kötőpontokon átmenő szintfelületek közötti hajlásszög, $|\Delta H|_{\max}$ az álláspontra vonatkozó maximális, $|\Delta H|_{\min}$ a minimális Euklideszi távolság

A szintfelületek hajlása az "előre" irányban	A magasság változása az "előre" irányban	
	$\Delta H > 0$	$\Delta H < 0$
konvergens	$ l_H - l_E = \Delta H _{\max} + \delta H_\varepsilon$	$ l_H - l_E = \Delta H _{\min} - \delta H_\varepsilon$
divergens	$ l_H - l_E = \Delta H _{\min} - \delta H_\varepsilon$	$ l_H - l_E = \Delta H _{\max} + \delta H_\varepsilon$



7. ábra A szintfelületek összehajlásából származó hibahalmozódás hatása a szintezési útvonal mentén. $A(\epsilon)$ görbe mutatja a két szomszédos kötőponton átmenő szintfelületek összehajlásából származó hibát, míg $B(\tau)$ görbe az „előre” kötőponton átmenő szintfelület és a műszerhorizont összehajlásának megfelelő hiba alakulását mutatja. A két hiba együttes hatását a szaggatott vonal ábrázolja

8. Függőben lévő vizsgálatok

Habár az OTKA program most lezárul, a fertőrákosi teszterületen rendelkezésre álló nagy mennyiségű adat feldolgozása még folyamatban van. Amint a barlangszínház részletes 3D modellje a rendelkezésünkre áll, végrehajtjuk azokat a direkt és inverz modellszámításokat is, amelyek az eredeti tervekben szerepeltek. Várhatóan még néhány évig a téma kutatása lehetőséget biztosít publikációk készítésére, amelyekben természetesen hivatkozni fogunk az OTKA támogatásra. Jelenleg is bírálat alatt van egy cikkünk a Journal of Geodesy folyóiratnál.

Sopron, 2008-03-03

Papp Gábor
témavezető